

AperTO - Archivio Istituzionale Open Access dell'Università di Torino

## Tendance des séries homogènes de températures et précipitations en Piémont

### This is the author's manuscript

*Original Citation:*

*Availability:*

This version is available <http://hdl.handle.net/2318/56872> since

*Publisher:*

Freddy V.

*Terms of use:*

Open Access

Anyone can freely access the full text of works made available as "Open Access". Works made available under a Creative Commons license can be used according to the terms and conditions of said license. Use of all other works requires consent of the right holder (author or publisher) if not exempted from copyright protection by the applicable law.

(Article begins on next page)

## TENDANCE DES SERIES HOMOGENES DE TEMPERATURES ET PRECIPITATIONS EN PIEMONTE (NO ITALIE)

**ACQUAOTTA Fiorella, FRATIANNI Simona**

*Dipartimento di Scienze della Terra – Università degli Studi di Torino Via Valperga Caluso, 35 – 10125 Torino (IT). fiorella.acquaotta@unito.it*

**Résumé :** Afin d'étudier correctement les variations climatiques il faut avoir à disposition des séries homogènes (Maugeri et al., 2006; Peterson et al., 1998). Nous avons donc analysé 21 stations météorologiques du Piémont gérées par le SIMN (Service national Hydrographique et Marégraphique), pendant la période 1951-2003. Nous avons construit la série mensuelle de chaque station et appliqué le test SNHT pour l'homogénéisation (Alexandersson et al., 1997). Ces méthodes ont permis d'estimer les tendances réelles sur chaque série. D'ailleurs, le test non-paramétrique de Mann-Kendall (MK) a été utilisé pour comprendre le signifié statistique du trend sur les séries thermo-pluviométriques du Piémont.

**Mots-clés:** Température, précipitations, homogénéisation, tendance, Piémont.

**Abstract:** In order to properly study climate variations, homogeneous series are needed (Maugeri et al., 2006; Peterson et al., 1998). We have therefore analysed 21 meteorological stations of Piedmont owned by SIMN (National Hydrographic and Sea Service) in the 1951-2003 period. We have set up a monthly series for every station and then we have applied the SNHT test for their homogenization (Alexandersson et al., 1997). These methods allowed us to estimate the real trends for each series. On the other hand, the non-parametric Mann-Kendall (MK) test has been used to understand the statistical meaning of the trend for the thermal-pluviometric series of Piedmont.

**Key words:** Temperature, precipitation, homogenisation, trend, Piedmont.

### Introduction

Ces dernières années, plusieurs études sur les variations climatiques ont été réalisées en diverses parties du monde et à différentes échelles spatiales. La plupart des études montrent une hausse des températures (Moonen et al., 1990, Houghton in IPCC). Beaucoup d'auteurs (Crisci et al., 2002, Tank et al., 2005) attribuent le réchauffement terrestre à l'intensification de l'effet de serre et croient que cette tendance continuera aussi dans le futur. Les prévisions sur les variations climatiques se basent en effet sur l'application de modèles de circulation atmosphérique qui présentent encore bien des incertitudes. Une surveillance continue du climat est donc nécessaire afin d'accroître les connaissances sur les variations climatiques, ce qui permettra de perfectionner les modèles.

Dans ce travail, nous avons étudié les séries thermo-pluviométriques sur une durée de 53 ans, de 1951 à 2003, dans quelques localités piémontaises distribuées uniformément dans la Région. On a analysé 21 séries de précipitations et 10 séries de température maximum et minimum.

Pour chaque série on a déterminé les lacunes, reconstruit les valeurs manquantes (Eischeid, 1995) et on a effectué l'homogénéisation (Alexandersson, 1997). Ce travail a permis d'obtenir plusieurs séries thermo-pluviométriques complètes et homogènes sur lesquelles on a calculé les trends qui ont permis de comprendre les tendances réelles des principales variables climatiques en Piémont.

### 1. Méthodes et données

Ont été sélectionnées les stations météorologiques gérées par le Service Hydrographique et Marégraphique National qui ont mesuré avec le plus de continuité les températures maximum et minimum et les précipitations journalières de 1951 jusqu'à 2003.

Dans chaque série mensuelle de température et précipitation, on a déterminé les lacunes de façon à reconstruire, si possible, les valeurs manquantes. Pour la reconstruction des lacunes on a utilisé quatre méthodes (Eischeid, 1995). L'emploi de plusieurs techniques permet en fait d'obtenir, pour la même lacune, différentes valeurs et de choisir celle qui est la mieux associée avec la série originale.

Dans la série qui présentait une année complète d'absence de données, on a reconstruit seulement les valeurs saisonnières, tandis qu'avec trois années continues de lacunes on a reconstruit seulement les valeurs annuelles et, avec plus de 5 ans consécutifs de manque de données, la série a été éliminée.

Dans un premier temps, on a sélectionné d'un minimum de 1 à un maximum de 4 stations météorologiques limitrophes à la station de référence dont on veut combler les lacunes. La lacune est comblée en choisissant la localité qui s'approche le mieux de la station choisie sur une base mensuelle (saisonnière ou annuelle). Le choix peut changer d'un mois à l'autre (d'une saison à l'autre ou d'une année à l'autre) puisque une localité considérée "renseignée" pour une période déterminée peut être "écartée" dans une autre.

Après avoir sélectionné les stations limitrophes, on a calculé les valeurs manquantes en appliquant les méthodes de reconstruction suivantes:

1. Normal Ratio method (NR): moyenne estimée entre les valeurs mensuelles de précipitation enregistrées dans les stations limitrophes précédemment sélectionnées:

$$W_i = \frac{r_i^2 (n_i - 2)}{1 - r_i^2} = \text{poids de chaque station limitrophe};$$

$r_i^2$  = coefficient de corrélation des  $i$ -èmes stations,  $n_i$  = nombre de points utilisés;

2. Inverse Distance method (ID): pesée moyenne entre les valeurs mensuelles de précipitation enregistrées dans les stations limitrophes. Le poids est donné par l'inverse de la distance entre la station choisie et les stations limitrophes;

3. Multiple Regression method (MR): régression multiple entre les valeurs de la station choisie et les stations limitrophes;

4. Mean method (M): valeur moyenne des résultats obtenus dans les 3 méthodes ci-dessus.

Pour le choix entre les résultats obtenus, on a calculé le coefficient de corrélation entre la série originale et les séries obtenues avec les diverses techniques. La valeur la plus grande du coefficient de corrélation a indiqué la méthode meilleure pour procéder à la reconstruction des lacunes.

Les séries complètes ont donc été homogénéisées en utilisant la méthode directe et indirecte. La méthode directe se base sur l'emploi des métadonnées, c'est-à-dire des informations sur la station, comme par exemple les possibles changements de position ou d'appareillage qui se sont passés au cours des années. La recherche des métadonnées a été réalisée dans les Annales Hydrographiques. Cette information nous permet de vérifier si, d'une année à l'autre, la station a subi des changements de position et des instruments.

Comme méthode indirecte, on a utilisé le test statistique Standard Normal Homogeneity Test (SNHT) (Alexandersson, 1997). Le test a été appliqué aux séries complètes de température maximum et minimum et de précipitations. Le test permet de déterminer et d'estimer le changement graduel ou inattendu de la valeur moyenne de la série choisie, en la comparant à la série de référence, qui est considérée homogène. La série de référence est créée en utilisant les séries des stations limitrophes, localisées en des zones géographiques

analogues. La comparaison entre la série choisie (à homogénéiser) et la série de référence met en évidence toutes les possibles dishomogénéités. La série de référence est utilisée comme un indicateur du climat de la zone limitrophe et, pour cela, on accepte comme changement climatique une variation qui ait un équivalent dans les stations voisines, tandis qu'un changement qui ne se vérifie que dans la station choisie n'est pas considéré comme une variation climatique.

Enfin, sur les séries saisonnières et annuelles des températures maximum et minimum on a calculé les tendances en utilisant la méthode de l'interpolation linéaire.

L'interpolation linéaire est une référence au premier ordre qui représente la tendance moyenne de la série. Elle est caractérisée par un coefficient angulaire qui en définit la croissance ou la décroissance, et parfois elle peut être ambiguë, étant conditionnée par des fluctuations internes. Afin d'obtenir une estimation correcte de la tendance on a appliqué le test de Mann Kendall qui indique lorsqu'une tendance est significative et son signe (Brunetti et al., 2000).

## 2. Résultats

Pour les séries des précipitations ont été sélectionnées des stations de plaine, de colline et de montagne, en fait l'altitude des localités varie entre 113 m et 2410 m au-dessus du niveau de la mer (tab. 1), alors que pour la série des températures on n'a pu choisir des stations distribuées uniformément selon la hauteur. En effet la plupart des stations sont situées à une hauteur inférieure à 500 m au-dessus du niveau de la mer et seulement deux stations (Ceresole et Valsoera) sont situées à une hauteur supérieure à 2000 m au-dessus du niveau de la mer (tab. 1).

Successivement, on a déterminé les lacunes présentes dans les séries.

Après cette première sélection on a éliminé cinq séries de précipitations, Casale Monferrato, Lanzo Torinese, Boves, Ceresole et Valsoera, et trois séries de température maximum et minimum, Casale Monferrato, Bra et Cumiana, pour la présence de lacunes.

Tableau 1. Stations météorologiques analysées. Dans la deuxième et cinquième colonne est indiquée l'altitude en mètres [m], dans la troisième et dans la sixième colonne est indiquée la variable mesurée de la station: \* = P, précipitations, ° = T, température maximum et minimum.

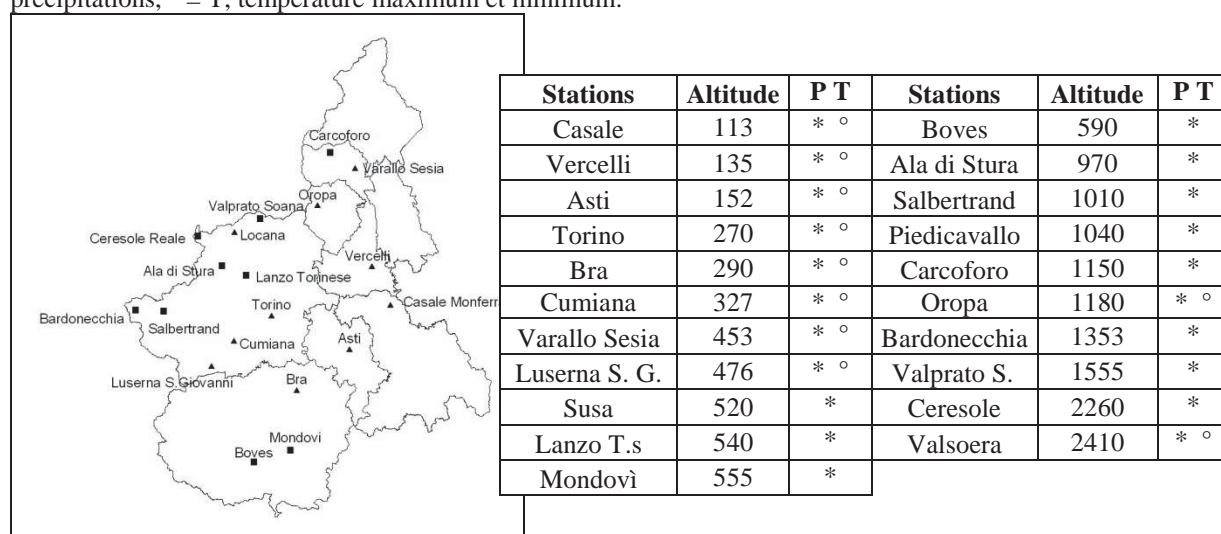


Figure 1. Stations météorologiques étudiées. Le carré indique les stations météorologiques qui ont enregistré seulement les précipitations; le triangle indique les stations météorologiques qui ont enregistré les températures maximales et minimales et les précipitations.

Seule la station de Vercelli présente un nombre réduit de lacunes, ce qui a permis de reconstruire les valeurs mensuelles, alors que pour les autres stations la reconstruction a été effectuée sur une base saisonnière ou annuelle.

Les séries des précipitations et des températures maximum et minimum ainsi reconstruites ont été homogénéisées. La méthode directe a permis de trouver quelques années de changement de position des stations météorologiques. L'application successive du test SNHT a trouvé dans les séries plusieurs années de discontinuité et, dans tous les cas, les métadonnées localisées par la recherche historique ont été aussi déterminées par le test statistique. Ceci a permis d'évaluer l'exactitude du test et de corriger les séries.

Successivement ont été calculées les tendances sur les séries des précipitations et des températures saisonnières et annuelles. Pour les séries des précipitations saisonnières on a déterminé plusieurs tendances décroissantes surtout en hiver, tandis qu'en automne et au printemps les trends ont montré une tendance croissante (tab. 2) même si, dans la plupart des séries, le test de Mann Kendall n'a pas permis d'accepter la tendance estimée. Seules les tendances relatives au printemps et à l'été de Vercelli, Carcoforo et Oropa sont statistiquement significatives. Dans la localité de Vercelli, en été, on a calculé une tendance décroissante de  $-0.7 \pm 0.6$  mm/an qui correspond à une baisse de 35 mm dans les derniers 50 ans (fig. 2). A Oropa et Carcoforo, au printemps, ont été déterminées des tendances positives de  $+8 \pm 3$  mm/an dans la localité d'Oropa et de  $+5 \pm 2$  mm/an dans la localité de Carcoforo (fig. 2), des valeurs qui correspondent respectivement à une hausse des précipitations de 400 mm et 260 mm dans les derniers 50 ans.

Localité	Hiver	Printemps	Eté	Automne	An
Vercelli	(-)	(-)	(-) p=0.01	(+)	(-)
Asti	/	/	/	/	(-)
Torino	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Bra	(-)	(+)	(+)	(+)	(+)
Cumiana	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Varallo Sesia	(+)	(+)	(-)	(+)	(-)
Luserna S. G.	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Susa	/	/	/	/	(-)
Mondovì	/	/	/	/	(-)
Ala di Stura	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)
Salbertrand	(-)	(+)	(+)	(-)	(-)
Piedicavallo	(+)	(+)	(-)	(+)	(+)
Carcoforo	(+)	(+) p=0.02	(-)	(+)	(+)
Oropa	(+)	(+) p=0.01	(+)	(+)	(+)
Bardonecchia	(+)	(+)	(-)	(+)	(-)
Valprato soana	(-)	(+)	(-)	(+)	(+)

Tableau 2. Tendances saisonnières et annuelles de précipitations déterminées dans chaque localité: (-) tendance décroissante; (+) tendance croissante; / tendance non calculée. Pour les localités de Vercelli, Carcoforo et Oropa on indique aussi la valeur de la probabilité associée au test de Mann Kendall ( $p < 0,05$ ), ce qui signifie que la tendance relevée est statistiquement acceptable.

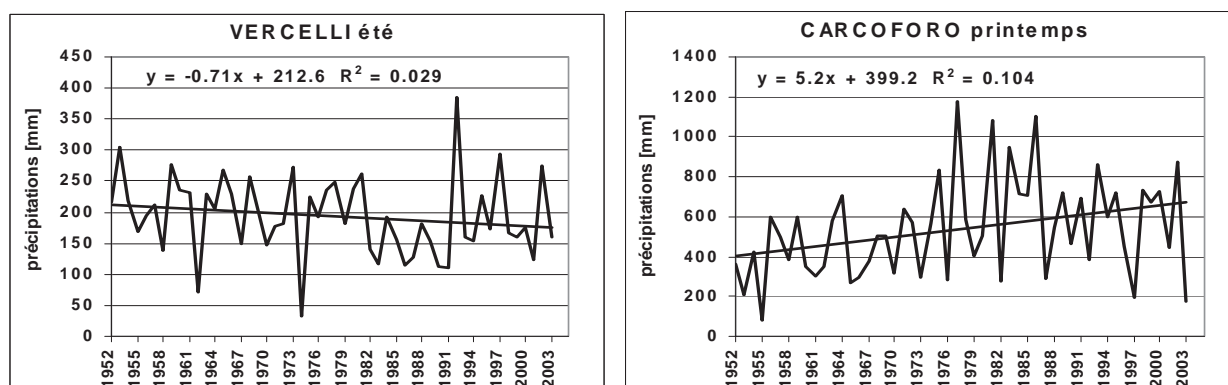


Figure 2. Tendence des précipitations saisonnières calculées dans la localité de Vercelli en été et dans la localité de Carcoforo au printemps pour une période de 52 ans, de 1952 à 2003.

Les tendances calculées sur les séries annuelles des précipitations ont mis en évidence une tendance décroissante dans la plupart des localités, surtout dans les stations situées à une altitude inférieure à 1000 m (tab. 2). Par contre, des tendances positives ont été calculées dans les localités situées au-dessus de 1000 m, comme par exemple dans les stations de Piedicavallo, Carcoforo et Oropa (tab. 2). Cependant il faut souligner que dans aucune des localités examinées le test de Mann Kendall n'a déterminé une tendance statistiquement significative.

Dans les séries saisonnières des températures maximum et minimum ont été calculées, dans la plupart des cas, des tendances croissantes et le test de Mann Kendall a permis d'accepter les valeurs estimées.

Pour les températures maximum la croissance la plus grande,  $0.04 \pm 0.01$  °C/an, est enregistrée dans les stations de Turin et Luserna S. G. en hiver, pendant que la croissance la plus petite a été de même calculée dans ces deux localités en été.

Pour la série des températures minimum la croissance la plus grande est enregistrée dans la station de Luserna S. G. en hiver et au printemps ( $+0.06 \pm 0.01$  °C/an), pendant que la croissance la plus petite a été déterminée dans les stations de Vercelli et Varallo Sesia en automne ( $+0.01 \pm 0.01$  °C/an).

Dans toutes les localités analysées, sur les séries annuelles des températures maximum et minimum, ont été calculées des tendances positives, et le test de Mann Kendall a permis d'accepter les tendances estimées (tab. 3).

Dans les localités de Vercelli, Turin et Luserna S. G. la croissance la plus grande est enregistrée dans les séries des températures minimum, à Varallo Sesia et Asti dans les températures maximum. Dans la station d'Oropa, par contre, on a calculé la même hausse pour les températures maximum et minimum,  $+0.04 \pm 0.01$  °C/an. Luserna S. G. présente une plus grande croissance des valeurs des températures de  $+0.060 \pm 0.004$  °C/an pour les températures maximum (fig. 3) et  $+0.05 \pm 0.01$  °C/an pour les températures minimum.

TEMPERATURES MAXIMUM											
Vercelli		Asti		Torino		Luserna S. G.		Varallo Sesia		Oropa	
+0.03±0.01	p=0.01	+0.03±0.01	p=0.01	+0.03±0.01	p=0.003	+0.05±0.01	p=0.001	+0.04±0.01	p=0.001	+0.04±0.01	p=0.001
TEMPERATURES MINIMUM											
+0.05±0.01	p=0.001	+0.006±0.008	p=0.001	+0.04±0.01	p=0.001	+0.060±0.004	p=0.001	+0.03±0.01	p=0.001	+0.04±0.01	p=0.001

Tableau 3. Tendances calculées sur les séries annuelles des températures maximum et minimum pour une période de 53 ans, de 1951 à 2003. On a reporté la valeur de la probabilité associée au test de Mann Kendall ( $p < 0,05$ ) pour indiquer si la tendance enregistrée est statistiquement acceptable.

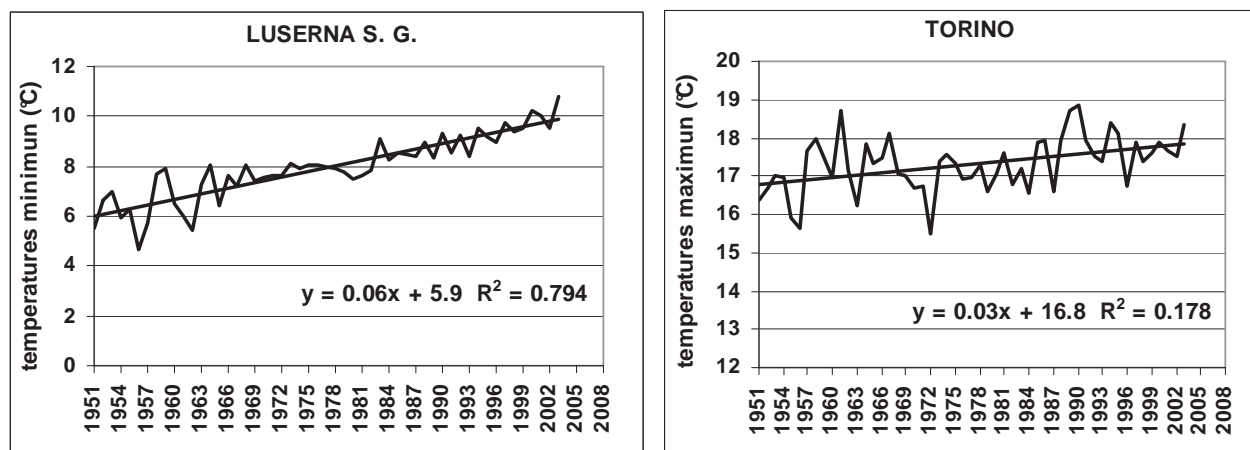


Figure 3. Tendance des températures minimum annuelles calculée dans la localité de Luserna S. G. et tendance des températures maximum annuelles calculée à Turin pour une période de 53 ans, de 1951 à 2003.

## Conclusion

L'étude des séries thermo-pluviométriques de la région Piémont a permis de connaître la tendance, dans les 53 dernières années, de 1951 à 2003, des principales variables météorologiques.

Pour la série des températures maximum et minimum, on a relevé une croissance graduelle qui se manifeste surtout sur la série des températures minimum d'hiver et sur la série des températures maximum de printemps. En hiver la hausse des températures minimum varie entre  $+0.02 \pm 0.01^\circ\text{C}/\text{an}$  et  $+0.06 \pm 0.01^\circ\text{C}/\text{an}$ , alors que pour les températures maximum, au printemps, la hausse est comprise entre  $+0.02 \pm 0.01^\circ\text{C}/\text{an}$  et  $+0.03 \pm 0.01^\circ\text{C}/\text{an}$ . Ces comportements ont permis de déterminer à un niveau annuel une tendance croissante des températures, et la hausse la plus grande a été calculée sur la série des températures minimum, où la croissance varie entre  $+0.03 \pm 0.01^\circ\text{C}/\text{an}$  et  $+0.060 \pm 0.004^\circ\text{C}/\text{an}$ , conformément à ce qui est rapporté par la Communauté Scientifique internationale (IPCC, 2001).

Pour les séries des précipitations, on n'a pas trouvé de tendance statistiquement significative, mais le travail réalisé a permis d'indiquer le comportement décroissant des quantités de pluie surtout en hiver, tandis qu'en automne et au printemps les tendances indiquent une croissance des précipitations. Malgré une légère croissance des précipitations dans quelques saisons, au niveau annuel la plupart des stations présentent une tendance décroissante et seules quelques localités situées à une altitude supérieure à 1000 m au-dessus du niveau de la mer enregistrent une tendance croissante dans la quantité de pluie annuelle.